

心拍数と酸素摂取との関係

第1報 運動群と非運動群の比較

管 原 正 志

(昭和49年9月30日受理)

Heart Rate and Its Relation to Oxygen Intake

Part 1. Comparison between Trained and Untrained Subjects

Masashi SUGAHARA

The present study was intended to determine heart rate and its relation to oxygen intake, and physical fitness of the trained and the untrained. The subjects in this study were sixteen students.

Eight subjects were trained, whereas others were untrained.

Results obtained as follows;

- 1) The average values of the height, body weight, lean body mass were highest in the trained, but the skinfold thickness and percentage of body fat were lowest in the trained.
- 2) The following became clear after the investigation on heart rate and its relation of oxygen intake in the muscular work.
 - a. The relation between heart rate and oxygen intake may be seen by the very high correlation coefficients (degree of 0.9).
 - b. The faculty of oxygen intake was highest in the trained and lowest in the untrained, and the value of oxygen intake was highest in the Step Test.
 - c. The assumption of maximum oxygen intake from the individual regression of heart rate and oxygen intake was highest in the trained.
 - d. The regression were calculated between rate of increase of heart rate (heart rate in exercise / heart rate at rest) and oxygen intake of excess work (oxygen intake in exercise-oxygen intake at rest).

Bicycle Ergometer $Y=0.012X-1.04$

Step Test $Y=0.010X-0.53$

(X: rate of increase of heart rate)

(Y: oxygen consumption of excess work)

I はじめに

身体活動により酸素の必要量は増加に呼応して呼吸器系、循環器系の活動は亢進し、心拍の数も搏出量も増加することはよく知られている。また筋活動にともなう心拍数増加の原因として、①中枢神経からの作用、②アドレナリン、サイロキシンなどの化学物質、③体温上昇、④血液 pH の低下、⑤心臓付近により起こる反射などがあげられている。

各種身体活動持続時の酸素摂取量と心拍数との関係についても、数多の研究報告がある。著者もこの両者の関係を追求して、心拍数から酸素摂取量を推測すると共に日常運動鍛練者と非運動者とで、この両者にみらるべき差異を明らかにしたいとして実験的研究を行なった。

II 方 法

1. 被験者：N大学生男子16名，うち運動群は8名で同大学運動部に所属し毎日練習しており，年齢は18～22才であった。非運動群は8名で運動部に所属しておらず，その運動はせいぜい週1～2回程度までの者で，年齢は17～24才である。

2. 測定時期：昭和49年7月

3. 測定項目及び方法

a. 身長

b. 体重

c. 皮下脂肪厚，栄研式皮厚計を用い，上腕部（右上腕の背部三頭膊筋上において肩峰突起と肘頭突起との中間点），背部（右側肩胛骨尖端角の直下），腹部（臍右横）の3ヶ所を測定し体脂肪％（対体重比），活性組織量 kg（Lean Body Mass）を算出した。

d. 心拍数と酸素消費量，運動負荷測定には踏台昇降運動（Step Test），と自転車 Ergometer を用い安静よりさまざまな負荷にいたるまでの心拍数と酸素消費量を同時に測定し，安静は，座位安静で30～40分後に採気測定した。

4. 踏台昇降運動の負荷方法

①踏台の高さ23cmで毎分12回の昇降（心拍数は90～110 beats/min.），②踏台の高さ23cmで毎分25回の昇降（心拍数115～130 beats/min.），③踏台の高さ23cmで毎分28回の昇降（心拍数135～150 beats/min.），④踏台の高さ35cmで毎分30回の昇降（心拍数150～beats/min.）の4種目について測定した。

5. 自転車 Ergometer の負荷方法

Monark 社の Ergometer を使用し ①0.5kpで10rpm（心拍数で75～90 beats/min.），②

1.0kp で10rpm (心拍数90~110 beats/min.), ③1.5kpで20rpm (心拍数115~140beats/min.), ④1.5kpで30rpm (心拍数150~beats/min.) の4種目について測定した。

各負荷は心拍数により steady state に入っていることを認めた後3分間採気を行なった。Step Test と自転車 Ergometer 負荷の④において心拍数が170 beats/min. 前後においても, 心拍数と酸素摂取量から Steady State が成立することを著者は確認した。

心拍数は日本光電 ポリグラフRM-45を用いて測定し, 採気は Respiration Gasmeter を用い Sample gas は労研式大型呼吸ガス分析器で分析した。測定に際しては, 室温条件を一定にする為に午前中に実施した。

III 測定成績

A. 体格と肥満

運動群と非運動群の年齢, 身長, 体重, 皮下脂肪厚, 体脂肪率 (対体重比), 活性組織量は表1に示す如く身長は, 運動群で $170.81 \pm 5.49\text{cm}$, 非運動群は $168.65 \pm 5.20\text{cm}$ でその差は 2.16cm と運動群に高く, 体重では運動群 $62.63 \pm 6.48\text{kg}$, 非運動群で $58.83 \pm 5.05\text{kg}$ でその差 3.80kg と運動群に重い。したがって体格で両群の差は有意ではなかったが, 運動群の方がやや優れている。

Table 1 Physical characteristics of trained group and untrained group

	trained group (N=8)		untrained group (N=8)		significant,
	mean	S. D	mean	S. D	
Age (Year)	20.76		21.20		
Height (cm)	170.81	± 5.49	168.65	± 5.20	N.S
Weight (kg)	62.63	± 6.48	58.83	± 5.05	N.S
Skinfold thickness (mm)	16.88	± 5.09	22.00	± 6.81	$p < 0.10$
(Triceps+Scapula)					
Body fat (% of wt.)	10.96	± 2.00	12.89	± 2.94	N.S
Lean body mass (Kg)	55.69	± 5.19	51.15	± 3.66	$p < 0.10$
(L. B. M.)					
LBM / Weight (%)	89.04	± 2.00	87.10	± 2.93	N.S

N.S (no significant difference)

皮下脂肪厚 (上腕+背) は, 運動群 $16.88 \pm 5.09\text{mm}$, 非運動群は $22.00 \pm 6.81\text{mm}$ であり, これから長嶺の計算式を用いて得られる体脂肪(%)は運動群 $10.96 \pm 2.00\%$, 非運動群は $12.89 \pm 2.94\%$ と, 非運動群がやや上回っている。活性組織量 LBM kg は運動群で $55.69 \pm 5.19\text{kg}$, 非運動群 $51.15 \pm 3.66\text{kg}$ となる。

B. 筋活動時の酸素摂取量と呼吸量の関係

図1は、Step Test における毎分酸素摂取量と呼吸量の関係である。運動量が増すと共に増加する正相関関係であり、その相関係数は運動群 $r=0.972$ 、非運動群 $r=0.971$ と両群ともに高かった ($P<0.001$)。また回帰係数は運動群で0.050に対し、非運動群は0.038となっており運動群は非運動群に比べると吸気からの酸素摂取率が高いことがわかる。また自転車 Ergometer も Step Test と同様な傾向であった。

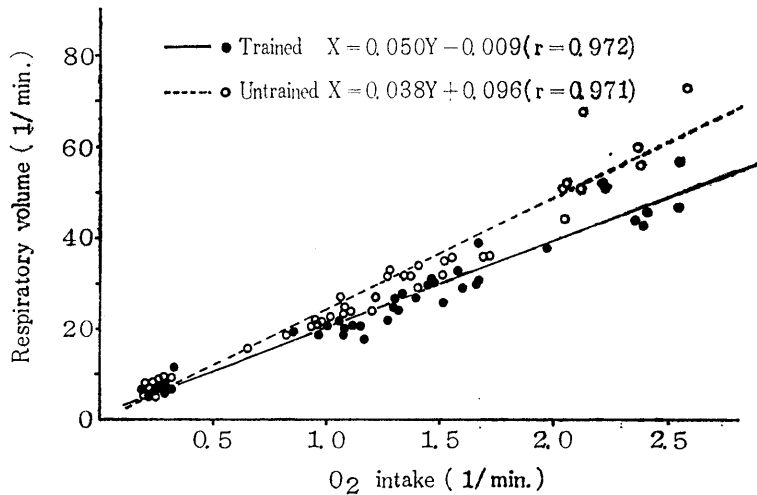


Fig. 1 Relation between respiratory volume and O_2 intake (step test)

C. 筋活動時の毎分心拍数と酸素摂取量の関係

図2は Step Test における毎分心拍数と酸素摂取量の関係で、図3は自転車 Ergometer 負

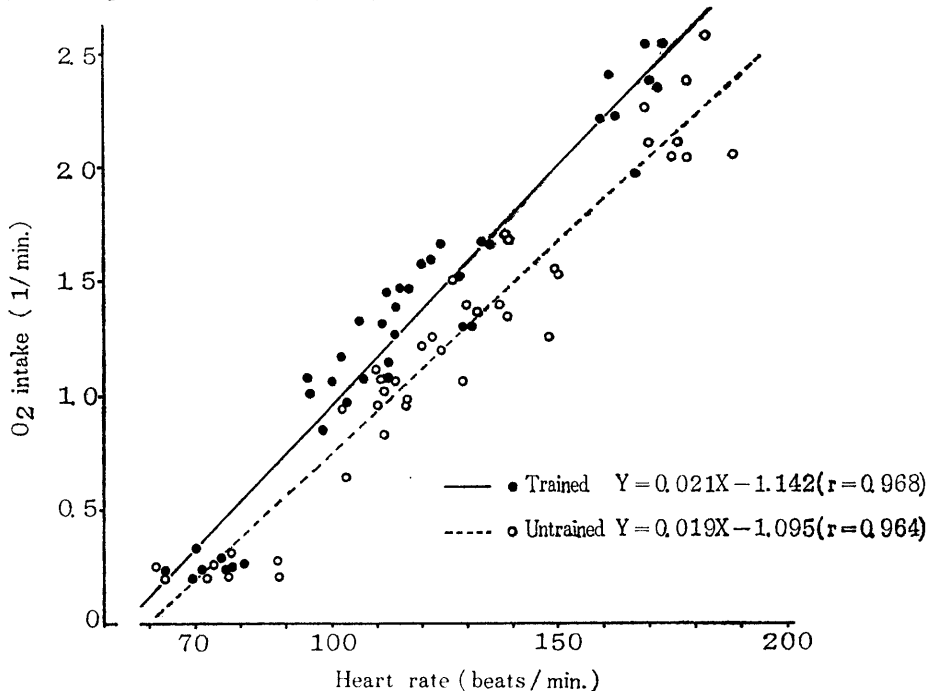


Fig. 2 Relation between heart rate and O_2 intake (step test)

荷での同じ関係である。Step Test, 自転車 Ergometer いずれの場合も高い有意な正相関係数があり ($P < 0.001$), その係数は, Step Test で運動群は $r = 0.968$, 非運動群は $r = 0.964$ であり, 自転車 Ergometer 負荷では運動群 $r = 0.963$, 非運動群 $r = 0.953$ であった。回帰係数は, Step Test で運動群 0.021, 非運動群 0.019 であり, 自転車 Ergometer では運動群 0.021, 非運動群は 0.016 となった。

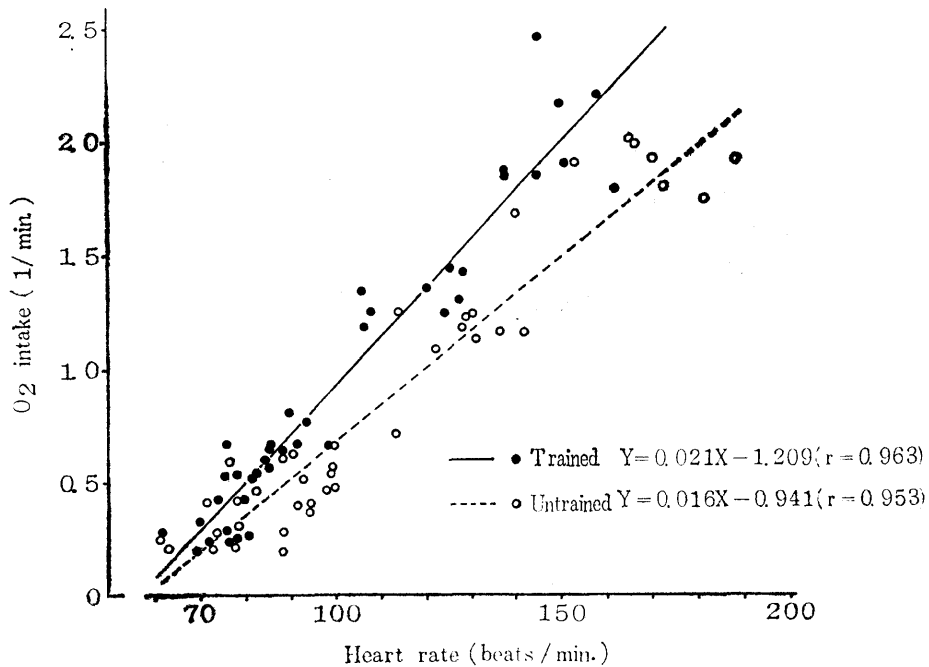


Fig. 3 Relation between heart rate and O₂ intake (biocycle ergometer)

筋活動で同じ心拍数でもって, 運動群では非運動群に比べてより多量の酸素摂取がなされている事が理解出来る。運動群では Step Test と自転車 Ergometer とでその回帰係数にはほとんど差がないが, 非運動群では Step Test の方の係数がやゝ大きく酸素摂取量が大きいことがわかる。このことは両負荷が, 一方は全身運動, 片方は局所運動的という質的差異を持つためと思はれる。

個人の体格の影響を消去する為に酸素摂取量を体重で割った単位体重当りの酸素摂取量と心拍数の関係を, Step Test について示したのが図 4 である。相関係数は運動群 $r = 0.958$, 非運動群 $r = 0.968$ と共に高い有意な関係であった ($P < 0.001$)。また回帰係数は運動群 0.337 に対し非運動群は 0.312 でありやはり運動群の酸素摂取割合は大きかった。同様に自転車 Ergometer についても, 運動群の方の酸素摂取は上回っており回帰係数 0.350 に対し非運動群のそれは 0.282 であった。

さらに単位活性組織 (LBM) 当り酸素摂取量と心拍数の関係でも同様な成績であり運動群の回帰係数が非運動群より大きかった。

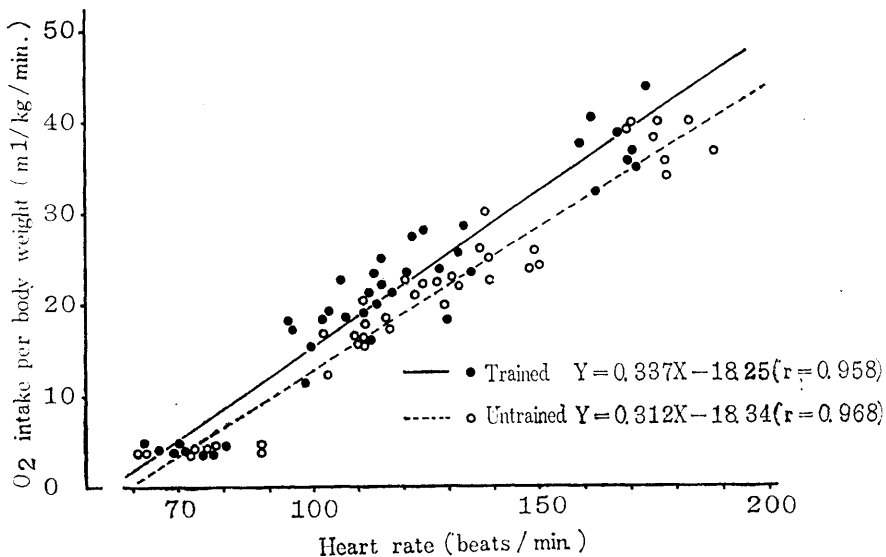


Fig. 4 Relation between heart rate and O_2 intake per body weight (step test)

D. 最大酸素摂取量と体格の関係

個人毎にその心拍数に対する酸素摂取量の回帰式を設定し、これから分時心拍数が180beats/min. に相当する酸素摂取量を算定しそれを最大酸素摂取量とみなした。

表2は安静時の酸素摂取量，推定した自転車 **Ergometer** での最大酸素摂取量と **Step Test** の最大酸素摂取量を，運動群と非運動群に分けて比較した。安静時の酸素摂取量は両群間の差は見られない。次に自転車 **Ergometer** での最大酸素摂取量は，運動群 $2.7 \pm 0.7 \ell$ に対し非運

Table 2 Physiological parameters of trained group and untrained group

	trained group (N=8)		untrained group (N=8)		significant,
	mean	S. D	mean	S. D	
VO_2 resting					
l/min.	0.26	± 0.04	0.24	± 0.04	N.S
ml/Kg/min.	4.2	± 0.5	4.1	± 0.4	N.S
ml/KgLBM/min.	4.7	± 0.5	4.7	± 0.5	N.S
VO_2 Max. (bicycle)					
l/min.	2.7	± 0.2	2.1	± 0.2	***
ml/Kg/min.	43.0	± 3.9	35.8	± 3.3	**
ml/KgLBM/min	48.3	± 4.2	41.2	± 3.7	**
VO_2 Max. (step)					
l/min.	2.8	± 0.4	2.3	± 0.2	*
ml/Kg/min.	44.0	± 4.9	38.9	± 3.4	*
ml/KgLBM/min.	49.5	± 6.3	44.6	± 3.5	$p < 0.10$

N.S ... no significant difference

* ... $p < 0.05$, ** ... $p < 0.01$, *** ... $p < 0.001$

動群は $2.1 \pm 0.2 \ell$ で高い有意な差が見られた ($P < 0.001$)。単位体重当り、および活性組織当りにしても運動群が非運動群よりも高く、ともに危険率 $P < 0.01$ で有意であった。

さらに Step Test の最大酸素摂取量は、運動群 $2.8 \pm 0.4 \ell$ に対し非運動群 $2.3 \pm 0.2 \ell$ で危険率 $P < 0.05$ で前者が有意に高く、それはまた単位体重当りでも運動群が高く ($P < 0.05$)、単位活性組織当りでも $P < 0.10$ で高かった。

自転車 Ergometer と Step Test の最大酸素摂取量を比較してみると、絶対値でわずかに Step Test が運動群、非運動群ともに高いが有意ではない。また最大酸素摂取量を体重当り、活性組織当りにしても、やはり運動群では Step Test、自転車 Ergometer とともに差はないが、非運動群では Step Test の摂取量が大きい傾向にある ($P < 0.10$)。

次に体重と Step Test の最大酸素摂取量の関係を図5に示した。両群の値を合併した相関係数は $r = 0.547$, $P < 0.05$ と有意な関係が見られ体重の大きいものが最大酸素摂取量が多い

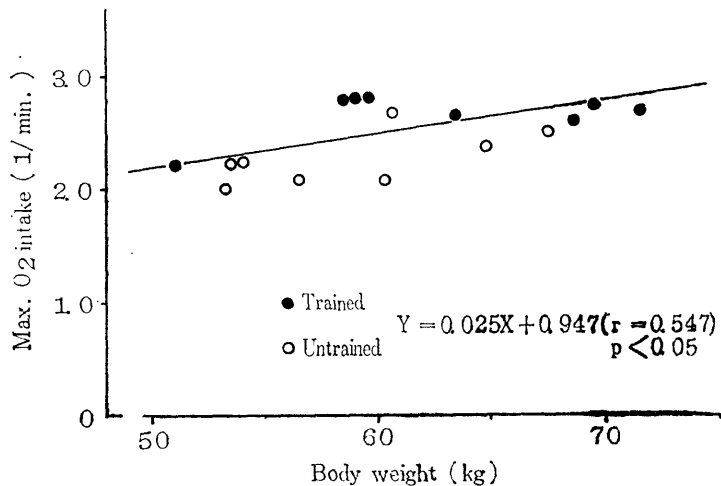


Fig. 5 Relation between body weight and Max. O₂ intake (step test)

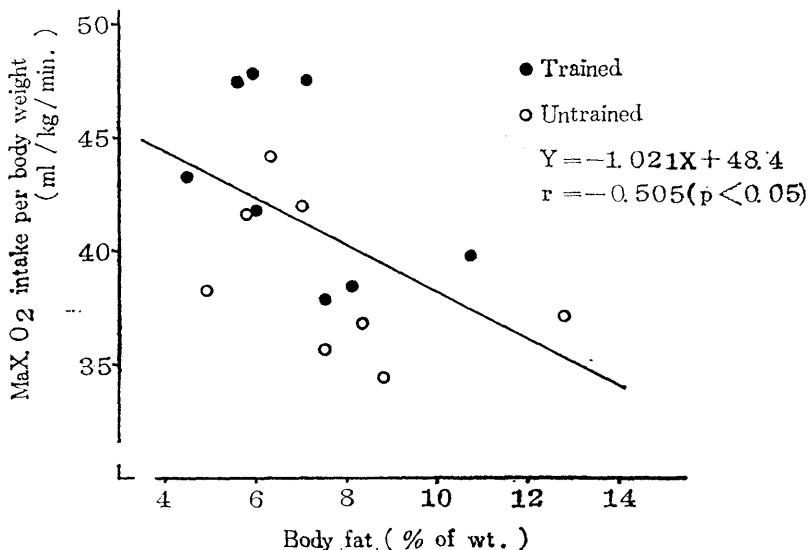


Fig. 6 Relation between body fat (% of wt.) and Max. O₂ intake per body weight (step test)

ことを示している。その回帰方程式は、

$$Y=0.025X+0.947 \quad [Y=\text{最大酸素摂取量} (\ell/\text{min.}), X=\text{体重}(\text{kg})] \text{であった。}$$

また図6は体脂肪% (対体重比) と Step Test での体重当り最大酸素摂取量との関係であり、相関係数 $r=-0.505$, $P<0.05$ と有意な負相関々係である。このことは体脂肪が少ない者ほど体重当りの最大酸素摂取量は大きくなり、体脂肪が多い者はそれだけ運動機能が劣ることになる。

E. 筋活動中の心拍数増加率と酸素摂取量の関係

心拍数は絶対値で個人差があり、また安静時の心拍数測定は現実には容易でなく、労作中の心拍数は安静時心拍数によって左右される。そこで心拍数を安静値に対する増加率として見ると個人間の心拍数の変動はほぼ一致した。表3は、心拍数増加率と労作時の酸素摂取から安静酸素摂取を差し引いた労作のみに摂取された酸素との関係より、心拍数の変化を知って労作中の酸素摂取量を推測する回帰方程式を示したものである。

Table 3 Coefficient of correlation and regression equation and its standard deviation between rate of increase of heart rate and oxygen intake of excess work

Work	Group	Examples	Regression Equation	S. D	Coefficient of Correlation
Bicycle Ergometer	Trained	32	$Y=0.014 X + 1.17$	± 0.26	0.904
	Untrained	32	$Y=0.011 X + 1.06$	± 0.22	0.924
	Total	64	$Y=0.012 X + 1.04$	± 0.27	0.889
Step test	Trained	32	$Y=0.012 X + 0.80$	± 0.22	0.890
	Untrained	32	$Y=0.009 X + 0.46$	± 0.30	0.794
	Total	64	$Y=0.010 X + 0.53$	± 0.29	0.813

Y=Oxygen consumption of excess work

X=Rate of increase of heart rate

自転車 Ergometer によって得られた回帰線は、運動群が非運動群よりも高く、また Step Test でも同様に運動群に高かった。そして運動群と非運動群を合併してその回帰を求めると、Step Test の方が自転車 Ergometer 運動に対して同じ心拍数増加率でも酸素摂取量が高くなる結果を得た。また相関係数は Step Test で $r=0.813$, 自転車 Ergometer では $r=0.889$ と共に高い相関であった ($P<0.001$)。

IV 考 察

Step Test, 自転車 Ergometer 負荷で運動群の方が少ない呼気量で多くの酸素を摂取している。また毎分心拍数と酸素摂取量の関係は、Steady state では直線の比例関係にあるが、その中で運動群は同じ量の酸素を摂取するにも非運動群より少ない心拍数ですむという結果を

得た。この両事実は運動群の心臓機能がすぐれ、1回の搏出量の高い事を明示している。

心拍数(180beats/min.)から推定した最大酸素摂取量もまた運動群が有意に高く、それはまた単位体格値当りでも同様であった事も運動家の心機能のすぐれている事を物語っている。

R. B. Bradfield¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、沼尻らは、あらかじめ心拍数とエネルギー消費の回帰を求め心拍数を測定することによりエネルギー消費量を推測し、それはかなりの信頼性があるとしている。本実験も同様にして検討した結果個人の心拍数がまちまちな為酸素摂取量の偏差をとってみてもかなりの誤差がある。そこで心拍数を安静に対する増加率として労作中のみに摂取した酸素量との関係を見ると個人差がなくなりほぼ一致した回帰直線が得られた。そして負荷が全身運動の場合と局所筋活動的な場合とでもかなり接近した。これは心拍数測定から、酸素消費量及びカロリー消費量を推定する事の可能性の高いことを物語るものである。しかし、著者が得た運動中の酸素摂取量を推測する回帰方程式は **Steady State** の労作の場合のみであり、単純な動作にのみしか活用できず、**Steady State** に入らないような複雑な動作には不適であろう。今後はさらに実験を重ね、種々の動作に適應する関係式を確立して行きたい。

V 要 約

男子大学生の運動群8名と非運動群8名について体格、及び心拍数と酸素摂取量の関係について測定検討した。

(1) 運動群が非運動群に比べて、身長・体重、活性組織量が大であり皮厚及び体脂肪は小であった。

(2) **Steady State** の成立する筋活動時の心拍数と酸素摂取量について検討した結果、

i) 酸素摂取と呼吸量については、運動群が同じ酸素を摂取するにしても少ない呼吸量でよい。

ii) 分時心拍数と分時酸素摂取量とは、係数0.9程度の高い正相関を示した。

iii) 心拍数とに対応する酸素摂取能力では、運動群が非運動群に比べて高い。この傾向は体重当り酸素摂取量にしても変わらなかった。

iv) 全身筋活動(**Step Test**)と局所筋活動(自転車 **Ergometer**)を比べると、同じ心拍数を打つ労作で **Step Test** の酸素摂取量は前者が大きかった。

v) 個人の心拍数と酸素摂取の回帰より心拍数180 beats/min. 時の酸素摂取量を最大酸素摂取量と推定して比較すると、**Step Test**, 自転車 **Ergometer** とともに運動群が有意にまさっていて、単位体格値当りにしても同様であった。

vi) 心拍数の安静値に対する増加率(x)から、運動による増加酸素摂取量(y)を推測する予知式を次の様に得た。

自転車 **Ergometer** $Y=0.012X-1.04$

Step Test $Y=0.010X-0.53$

[X=安静からの心拍数増加率, Y=運動による増加酸素摂取量]

本研究は長崎大学医学部衛生学教室，中村正教授の御指導，御校閲を受けたことを記し深謝する。

参 考 文 献

- 1) R. B. Bradfield, Ph. D. : A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field, *The Am. J. of Clini. Nutri.* Vol 24 (9), 1148-1154, 1971
- 2) R. B. Bradfield, Ph. D., J. Paulos, M. S., and L. Grossman, M. A. : Energy expenditure and heart rate of obese high school girls, *The Am. J. of Clini. Nutri.* Vol 24 (12), 1482-1488, 1971
- 3) R. B. Bradfield and Martin Jourdan : Energy expenditure of obese women during weight loss, *The Am. J. of Clini. Nutri.* Vol 25 (10), 971-975, 1972
- 4) 沼尻幸吉：エネルギー代謝と心拍数との相関について，*労働科学*，Vol 50 (2), 79-88, 1974